

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09005212 A**(43) Date of publication of application: **10.01.97**

(51) Int. Cl

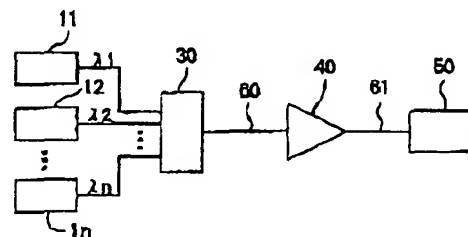
**G01M 11/02**(21) Application number: **07151897**(22) Date of filing: **19.06.95**(71) Applicant: **SUMITOMO ELECTRIC IND LTD**(72) Inventor: **KASHIWADA TOMONORI  
KADOI MOTOTAKA****(54) METHOD AND APPARATUS FOR EVALUATING  
OPTICAL FIBER AMPLIFIER**the amplifier 40, amplified by the amplifier 40 and  
output from the amplifier 40.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1997.JPO

**PURPOSE:** To obtain a small-scale optical fiber amplifier evaluating apparatus capable of easily evaluating by providing a signal light source, an optical multiplexer and measuring means for measuring the intensity of signal light.

**CONSTITUTION:** Signal light sources 11 to in are included in a wavelength range capable of amplifying by an optical fiber amplifier 40, at least one wavelength is included in the wavelength range of the first number of signal lights, and the sources 11 to in output second number of signal lights of at least two or more smaller than the first number. An optical multiplexer 30 wavelength-multiplexes the signal lights of the second number output from the sources 11 to 1n, and outputs toward the amplifier 40. Thus, the signal lights of the second number having the wavelength to be desired to be evaluated for the characteristics are wavelength-multiplexed and input to the amplifier 40 to be evaluated. Measuring means 50 measures the quantities of the signal lights included in the wavelength range of the signal lights of the first number of the signal lines of the second number input to



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-5212

(43) 公開日 平成9年(1997)1月10日

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>

G 0 1 M 11/02

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 M 11/02

技術表示箇所

F

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平7-151897

(22) 出願日 平成7年(1995)6月19日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 柏田 智徳

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 角井 素貴

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

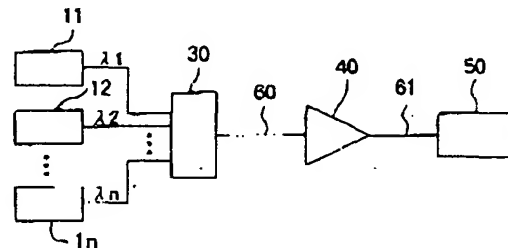
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器評価方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 多波長一括増幅に用いられる光ファイバ増幅器、特に増幅用光ファイバの各信号光に対する利得と雑音指数を評価するための、小規模で評価容易な光ファイバ増幅器評価方法および装置を提供する。

【構成】 実際の多波長一括増幅に用いられる信号光の波長の数より少なく2以上の数の信号光を波長多重化して、評価対象である光ファイバ増幅器に入力する。光ファイバ増幅器で増幅された後に出力された信号光の各波長について光量を測定し、その測定結果から、その光ファイバ増幅器の特性を評価する。この評価に際して、光ファイバ増幅器に入力する信号光の光量や波長を適宜変更することにより、実際の多波長一括増幅におけるそれぞれの光量と波長の信号光に対する光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を求める。



(2)

特開平 9- 5212

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価方法であって、

前記光ファイバ増幅器で増幅可能な波長範囲に含まれ、少なくとも1波長が前記第1の数の信号光の波長範囲に含まれ、それぞれ波長が異なる、前記第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を波長多重化して、前記光ファイバ増幅器に入力する第1のステップと、

前記光ファイバ増幅器に入力され、前記光ファイバ増幅器で増幅されて、前記光ファイバ増幅器から出力された前記第2の数の信号光の内、前記第1の数の信号光の波長範囲に含まれる信号光それぞれの光量を測定する第2のステップとを備えることを特徴とする光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項2】 前記第1のステップは、前記第2の数の信号光の全光量が前記第1の数の信号光の全光量に略等しいことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項3】 前記第1のステップは、前記第2の数の信号光の内、少なくとも1つの信号光の光量が調整可能であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項4】 前記第1のステップは、前記第2の数の信号光の内、少なくとも1つの信号光の波長が変更可能であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項5】 それぞれ波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価装置であって、

前記光ファイバ増幅器で増幅可能な波長範囲に含まれ、少なくとも1波長が前記第1の数の信号光の波長範囲に含まれ、それぞれ波長が異なる、前記第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を出力する信号光源部と、

前記信号光源部から出力された前記第2の数の信号光を波長多重化して、前記光ファイバ増幅器に向けて出力する光合波器と、

前記光ファイバ増幅器に入力され、前記光ファイバ増幅器で増幅されて、前記光ファイバ増幅器から出力された前記第2の数の信号光の内、前記第1の数の信号光の波長範囲に含まれる信号光それぞれの光量を測定する測定手段とを備えることを特徴とする光ファイバ増幅器評価装置。

【請求項6】 前記信号光源部は、前記第1の数の信号光の全光量に略等しい全光量の前記第2の数の信号光を出力することを特徴とする請求項5記載の光ファイバ増幅器評価装置。

【請求項7】 前記信号光源部は、前記第2の数の信号

2

光の内、少なくとも1つの信号光の光量を調整する光量調整手段を備えることを特徴とする請求項5記載の光ファイバ増幅器評価装置。

【請求項8】 前記信号光源部は、前記第2の数の信号光の内、少なくとも1つの信号光の波長を変更する波長変更手段を備えることを特徴とする請求項5記載の光ファイバ増幅器評価装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

10 【産業上の利用分野】 本発明は、異なる複数の波長の光を信号光として光ファイバ伝送を行う光中継伝送に用いられる光ファイバ増幅器、特に増幅用光ファイバの特性評価技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 異なる複数の波長の光を信号光として光ファイバ伝送を行う、例えば波長多重伝送を行う光通信は、図12に示すような光中継伝送装置を用いて行われる。

【0003】 まず、送信端局100において、 $n$ 個の情報信号は、光送信器101、102、…、10 $n$ によりそれぞれ波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_n$ の信号光に変換され、更にこれら $n$ 波の信号光は、光合波器110により波長多重化される。そしてこの波長多重化され信号光は、光ファイバ伝送路111に送出される。

【0004】 光ファイバ伝送路111の途中には、光増幅器121、…、12 $n$ が配置されており、これらの光増幅器121、…、12 $n$ により、波長多重化され信号光は一括増幅される。こうして信号光は伝送中の損失を補償されつつ、受信端局130に伝送される。

30 【0005】 受信端局130においては、波長多重化された信号光は、光分波器131により波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_n$ の信号光に分波され、更にこれら $n$ 波の信号光は、光受信器141、142、…、14 $n$ により $n$ 個の情報信号に変換され、抽出される。

【0006】 そして近年、こうした異なる複数の波長の光を信号光として伝送を行う光中継伝送装置に使用される光増幅器としては、高利得および低ノイズ性に優れていることから、コアに希土類元素を添加した増幅用光ファイバを用いた光ファイバ増幅器が検討されている。特に、波長1.55 $\mu$ m帯の光増幅器として、希土類元素のErを添加した光ファイバ(ErDF; Erbium-Doped Fiber)を用いたEr添加光ファイバ増幅器(EDFA; Erbium-Doped Fiber Amplifier)が有望とされている。

【0007】 この光ファイバ増幅器は、利得が大きく、雑音指数(NF; Noise Factor)が小さい方が好ましい。又、各波長の信号光に対する利得が略一定であることが望ましい。従って、光ファイバ増幅器の開発に際しては、このような良好な特性を目指して開発が進められ、又、光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの生産に際しては、この特性に関して品質評価・生産管理が

50

(3)

特開平 9- 5212

3

4

行われる必要がある。

【0008】従来、開発あるいは生産時における光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの利得や雑音指数の特性を、以下のようにして評価していた。実際が多波長一括増幅に用いられる全ての波長の信号光のそれぞれを出力する信号光源を用意し、それぞれの信号光源から出力された信号光を波長多重化し、波長多重化された信号光を光ファイバ増幅器に入力し、光ファイバ増幅器で多波長一括増幅された後に出力された光のスペクトラムを測定し、その測定結果から光ファイバ増幅器の利得や雑音指数を得ていた（例えば、S.M. Ilwang, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol.5, no.10, pp.1190-1193, 1993）。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記従来例による光ファイバ増幅器評価方法および装置では、実際が多波長一括増幅に用いられる波長の数だけ信号光源が必要となる。従って、評価システムが大規模であり高価であり、これら多数の信号光源を調達することが困難であるという問題点があった。又、多数の信号光源から出力される信号光それぞれの光量や波長を調整して光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価を行う必要があるため、評価作業が複雑であるという問題点もあった。

【0010】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、小規模で評価容易な光ファイバ増幅器評価方法および装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバ増幅器評価方法は、それぞれ波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価方法であって、（1）光ファイバ増幅器で増幅可能な波長範囲に含まれ、少なくとも1波長が第1の数の信号光の波長範囲に含まれ、それぞれ波長が異なる、第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を波長多重化して、光ファイバ増幅器に入力する第1のステップと、（2）光ファイバ増幅器に入力され、光ファイバ増幅器で増幅されて、光ファイバ増幅器から出力された第2の数の信号光の内、第1の数の信号光の波長範囲に含まれる信号光それぞれの光量を測定する第2のステップと、を備えることを特徴とする。

【0012】第1のステップは、①第2の数の信号光の全光量が第1の数の信号光の全光量に略等しくてもよいし、②第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の光量が調整可能であってもよいし、③第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の波長が変更可能であってもよい。

【0013】本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置は、それぞれ波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイ

バ増幅器評価装置であって、（1）光ファイバ増幅器で増幅可能な波長範囲に含まれ、少なくとも1波長が第1の数の信号光の波長範囲に含まれ、それぞれ波長が異なる、第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を出力する信号光源部と、（2）信号光源部から出力された第2の数の信号光を波長多重化して、光ファイバ増幅器に向けて出力する光合波器と、（3）光ファイバ増幅器に入力され、光ファイバ増幅器で増幅されて、光ファイバ増幅器から出力された第2の数の信号光の内、第1の数の信号光の波長範囲に含まれる信号光それぞれの光量を測定する測定手段と、を備えることを特徴とする。

【0014】信号光源部は、①第1の数の信号光の全光量に略等しい全光量の第2の数の信号光を出力することとしてもよいし、②第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の光量を調整する光量調整手段を備えてもよいし、③第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の波長を変更する波長変更手段を備えてもよい。

【0015】

【作用】本発明に係る光ファイバ増幅器評価方法は、上述のような構成としたので、以下のように作用して、それぞれ波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する。

【0016】第1のステップにおいて、光ファイバ増幅器で増幅可能な波長範囲に含まれ、少なくとも1波長が第1の数の信号光の波長範囲に含まれ、それぞれ波長が異なる、第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を波長多重化して、光ファイバ増幅器に入力する。これにより、評価対象である光ファイバ増幅器に、その特性を評価しようとする波長を有する第2の数の信号光が波長多重化されて入力される。第2のステップにおいて、光ファイバ増幅器に入力され、光ファイバ増幅器で増幅されて、光ファイバ増幅器から出力された第2の数の信号光の内、第1の数の信号光の波長範囲に含まれる信号光それぞれの光量を測定する。これにより、入力された第2の数の信号光のそれぞれの波長に対する光ファイバ増幅器の特性を得る。以上により、多波長一括増幅に用いられる光ファイバ増幅器の特性が、第1の数の信号光の波長範囲に含まれる波長の信号光に対して評価される。

【0017】第1のステップが、第2の数の信号光の全光量が第1の数の信号光の全光量に略等しい場合には、多波長一括増幅の際における光ファイバ増幅器の特性が評価される。

【0018】第1のステップが、第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の光量が調整可能である場合には、多波長一括増幅の際において第1の数の信号光の光量が変動しても、その信号光量における光ファイバ増幅器の特性が評価される。

【0019】第1のステップが、第2の数の信号光の内

(4)

特開平 9- 5212

5

の少なくとも1つの信号光の波長が変更可能である場合には、多波長一括増幅の際の第1の数の信号光それぞれに対する光ファイバ増幅器の特性が評価される。

【0020】本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置は、上述のような構成としたので、以下のように作用して、それぞれ波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する。

【0021】信号光源部は、光ファイバ増幅器で増幅可能な波長範囲に含まれ、少なくとも1波長が第1の数の信号光の波長範囲に含まれ、それぞれ波長が異なる、第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を出力する。光合波器は、信号光源部から出力された第2の数の信号光を波長多重化して、光ファイバ増幅器に向けて出力する。これにより、評価対象である光ファイバ増幅器に、その特性を評価しようとする波長を有する第2の数の信号光が波長多重化されて入力される。測定手段は、光ファイバ増幅器に入力され、光ファイバ増幅器で増幅されて、光ファイバ増幅器から出力された第2の数の信号光の内、第1の数の信号光の波長範囲に含まれる信号光それぞれの光量を測定する。これにより、入力された第2の数の信号光のそれぞれの波長に対する光ファイバ増幅器の特性を得る。以上により、多波長一括増幅に用いられる光ファイバ増幅器の特性が、第1の数の信号光の波長範囲に含まれる波長の信号光に対して評価される。

【0022】信号光源部が、第1の数の信号光の全光量に略等しい全光量の第2の数の信号光を出力する場合には、多波長一括増幅の際における光ファイバ増幅器の特性が評価される。

【0023】信号光源部が、第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の光量を調整する光量調整手段を備える場合には、多波長一括増幅の際において第1の数の信号光の光量が変動しても、その信号光量における光ファイバ増幅器の特性が評価される。

【0024】信号光源部が、第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の波長を変更する波長変更手段を備える場合には、多波長一括増幅の際の第1の数の信号光それぞれに対する光ファイバ増幅器の特性が評価される。

【0025】

【実施例】本発明は、発明者による以下の知見に基づくものである。増幅用光ファイバとして希土類元素Erを添加したEDFを用いた光ファイバ増幅器は、励起光により反転分布が形成され、入力する信号光の全光量に応じた誘導放出が発生し、その信号光を増幅する。光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、そのEDFに入力される信号光の全光量によって決まり、信号光の波長の数に依らない。但し、このことは、信号光が2波長以上である場合に当てはまり、信号光が1波長である場合には当てはまらない。

6

【0026】従って、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が等しい限り、信号光の波長の数が2以上であれば、信号光の波長の数に依らず、それぞれの波長に対する利得や雑音指数の特性は同じである。例えば、10波長の信号光( $\lambda 1$ ないし $\lambda 10$ )を光ファイバ増幅器に入力した場合と、2波長の信号光( $\lambda 1$ および $\lambda 2$ )をその光ファイバ増幅器に入力した場合とで、前者の場合における10波長の信号光の全光量と後者の場合における2波長の信号光の全光量とが等しければ、両者間で共通の2波長( $\lambda 1$ および $\lambda 2$ )それぞれに対する利得や雑音指数の特性は同じである。以上の知見に基づいて、実際の多波長一括増幅に用いられる信号光の一部(但し、2波長以上)の信号光を評価対象である光ファイバ増幅器に入力して、その光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価する。

【0027】以下、添付図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。尚、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0028】(第1の実施例) 先ず、第1の実施例について説明する。図1は、第1の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。図2は、光ファイバ増幅器の構成図である。

【0029】本実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置は、(1)異なるn個の波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ のそれぞれの信号光を出力するn個の信号光源11ないし1nと、

(2)信号光源11ないし1nから出力されたそれぞれの信号光を波長多重化し、その波長多重化された信号光を光ファイバ伝送路60に送出する光合波器30と、

(3)光ファイバ増幅器40から光ファイバ伝送路61に送出された信号光を入力して、その信号光のスペクトラムを解析する光スペクトラムアナライザ50と、を備える。

【0030】評価対象である光ファイバ増幅器40は、

(1)光ファイバ伝送路60を伝送されてきた信号光を入力して、その信号光の進行方向に進む光のみを透過させる光アイソレータ41と、(2)光アイソレータ41から出力された信号光を入力し、増幅した後に出力する増幅用光ファイバ42と、(3)増幅用光ファイバ42に供給する励起光を発生する励起光源43と、(4)励起光源43から出力された励起光を増幅用光ファイバ42に入力させる光結合器44と、(5)増幅用光ファイバ42で増幅され出力された信号光を入力して、その信号光の進行方向に進む光のみを光ファイバ伝送路61の方向に透過させる光アイソレータ45と、からなる。光ファイバ増幅器40は、光合波器30から出力された波長多重化された信号光を入力して増幅し、増幅された信号光を光スペクトラムアナライザ50に向けて出力する。

【0031】実際の多波長一括増幅時に光ファイバ増幅器40に入力する信号光の波長の数よりも少ないn個の

(5)

特開平 9- 5212

7

信号光源11ないし1nは、それぞれ互いに異なる波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ の信号光を出力する。信号光源11ないし1nとして、例えば、半導体レーザが用いられる。これら波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ は、実際が多波長一括増幅で用いられる波長である。但し、波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ は、実際が多波長一括増幅で用いられる全ての信号光の波長に完全同一である必要はなく、実際が多波長一括増幅で用いられる信号光の内の一部の信号光の波長である。1. 55 $\mu$ m帯の光ファイバ増幅器40を評価する場合に、波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ は、例えば1540ないし1565nmの範囲に含まれる。

【0032】光合波器30は、信号光源11ないし1nそれぞれから出力された波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ の信号光を入力して波長多重化し、波長多重化された信号光を光ファイバ伝送路60に送出する。波長多重化された信号光は、評価対象である光ファイバ増幅器40に入力される。

【0033】光ファイバ増幅器40は、光合波器30から出力された波長多重化された信号光を入力し、多波長一括増幅し、その結果を光ファイバ伝送路61に送出する。光ファイバ増幅器40内の各構成要素は以下の通りである。

【0034】光アイソレータ41は、光合波器30から出力され光ファイバ伝送路60を伝送されてきた信号光を、増幅用光ファイバ42に向けて透過させる。しかし、増幅用光ファイバ42から光ファイバ伝送路60へ方向には、光を透過させない。

【0035】増幅用光ファイバ42は、光アイソレータ41から到達した信号光を入力し、又、励起光源43から出力された励起光を光結合器44を経由して入力する。増幅用光ファイバ42は、励起光が入力している時に、信号光が入力すると、その信号光を多波長一括増幅し、多波長一括増幅された信号光を出力する。

【0036】励起光源43は、増幅用光ファイバ42における多波長一括増幅の為に必要な励起光を出力する。光結合器44は、その励起光を増幅用光ファイバ42に入力させ、又、増幅用光ファイバ42からの信号光を光アイソレータ45に向けて透過させる。

【0037】光アイソレータ45は、増幅用光ファイバ42から出力されて光結合器44を透過した信号光を光ファイバ伝送路61に送出する。しかし、光ファイバ伝送路61から光結合器44へ方向には、光を透過させない。

【0038】尚、図2では、光結合器44を増幅用光ファイバ42の後段に設けることにより、励起光が後方向励起（増幅用光ファイバ42の信号光出力側から励起光を入力）により増幅用光ファイバ42に供給される図を示したが、前方向励起（増幅用光ファイバ42の信号光入力側から励起光を入力）や双方向励起（増幅用光ファイバ42の信号光入力側および信号光出力側の双方から

8

励起光を入力）でも構わない。

【0039】光スペクトラムアナライザ50は、以上のように光ファイバ増幅器40で多波長一括増幅され出力されて光ファイバ伝送路61を伝送されてきた波長多重化された信号光を入力し、その信号光の光スペクトラムを解析する。即ち、波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ の信号光それぞれの光量を測定する。

【0040】以上のように構成される本実施例の光ファイバ増幅器評価装置は、以下のように動作する。

【0041】信号光源11ないし1nから出力された波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ の信号光は、光合波器30で波長多重化されて、光ファイバ増幅器40に入力される。

【0042】光ファイバ増幅器40において、励起光源43から出力された励起光が光結合器44を経由して増幅用光ファイバ42に供給され、その励起光により、増幅用光ファイバ42内のErが励起される。この時に、光合波器30で波長多重化された信号光は、光アイソレータ41を通過して増幅用光ファイバ42に入力すると、励起されたErによる誘導放射により所定の波長依存性の利得で多波長一括増幅される。

【0043】増幅用光ファイバ42で増幅された信号光の一部は、光アイソレータ41に向かっても伝搬するが、光アイソレータ41を透過して光ファイバ伝送路60に伝搬することはない。光アイソレータ45に向かって伝搬した増幅された信号光は、光結合器44と光アイソレータ45を透過して、光ファイバ伝送路61に伝搬する。そして、光ファイバ増幅器40で多波長一括増幅された信号光は、光スペクトラムアナライザ50で、波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ それぞれの信号光の光量が測定される。

【0044】次に、第1の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置を用いた光ファイバ増幅器評価方法について説明する。

【0045】信号光源11ないし1nとして、実際が多波長一括増幅に用いられる信号光の波長の一部である波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ の信号光を出力する信号光源が用いられる。これら信号光源11ないし1nから出力された信号光は、光合波器30で波長多重化され、評価対象である光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40で多波長一括増幅された後に出力された信号光は、光スペクトラムアナライザ50で解析され、波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ それぞれの信号光の利得と雑音指数が得られる。ここで得られた光ファイバ増幅器40の各波長に対する利得と雑音指数は、実際が多波長一括増幅時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の全光量が、その評価時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の全光量に等しい場合の、実際が多波長一括増幅時におけるそれぞれの波長の信号光の利得と雑音指数である。

【0046】次に、第1の実施例に係る光ファイバ増幅

(6)

特開平 9- 5212

9

10

器評価装置および方法によるシミュレーション例について説明する。

【0047】尚、以降に説明するシミュレーション計算の前提条件は以下のとおりである。光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバはA1共添加EDFであり、Er添加濃度は約0.1wt%、A1添加濃度は約1wt%、長さは22mである。又、光ファイバ増幅器は、後方向励起方式により信号光を増幅するものであり、励起光波長は1.48 $\mu$ m、励起光光量は50mWである。

【0048】図3は、3波一括増幅および8波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。図3(a)と図3(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長である。

【0049】図3(a)は、信号光の全光量が-0.97dBmである場合の光ファイバ増幅器の雑音指数のシミュレーション結果を示す。3波長一括増幅(図中の口印)の場合、3波長(1540/1547/1554nm)それぞれの信号光の光量は同一であり、-5.74dBmである。又、8波長一括増幅(図中の○印)の場合、8波長(1540/1542/1544/1546/1548/1550/1552/1554nm)それぞれの信号光の光量は同一であり、-10dBmである。

【0050】図3(b)は、信号光の全光量が-20.97dBmである場合の光ファイバ増幅器の雑音指数のシミュレーション結果を示す。3波長一括増幅(図中の口印)の場合、3波長(1540/1547/1554nm)それぞれの信号光の光量は同一であり、-25.74dBmである。8波長一括増幅(図中の○印)の場合、8波長(1540/1542/1544/1546/1548/1550/1552/1554nm)それぞれの信号光の光量は同一であり、-30dBmである。

【0051】この図から、光ファイバ増幅器の雑音指数は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が同一であれば、光ファイバ増幅器に入力する信号光が3波長であるか8波長であるかには依存しないことが認められる。即ち、実際の多波長一括増幅時に光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長が上記の8波長であっても、信号光の全光量が同一であれば、評価時にはそれらの内の3波長の信号光を用いてその光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価することができる。

【0052】又、信号光の波長が短い程、光ファイバ増幅器の雑音指数は大きいことが認められる。一般に、多波長一括増幅時において、信号光の波長が短い程、光ファイバ増幅器の雑音指数は大きい(例えば、C.R. Giles, et al., J. Lightwave Technol., vol.9, no.2, pp.147-154, 1991、或いは、M. Yamada, et al., Electron. Lett., vol.30, no.21, pp.1762-1764 1994)。従っ

て、多波長一括増幅に用いられる信号光の内の、最も波長の短い信号光および最も波長の長い信号光を合波して、評価対象である光ファイバ増幅器に入力して、それぞれの雑音指数を評価すれば、多波長一括増幅時に用いられる信号光の各波長に対する雑音指数の範囲が分かる。

【0053】(第2の実施例)次に、第2の実施例について説明する。図4は、第2の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。

【0054】本実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置は、前述の第1の実施例に加えて、n個の信号光源11ないし1nから出力されたそれぞれの信号光の光量を適当に調整する光量調整手段として、n個の光減衰器21ないし2nを備える。

【0055】実際の多波長一括増幅時に光ファイバ増幅器40に入力する信号光の波長の数よりも少ないn個の信号光源11ないし1nは、前述の第1の実施例と同様に、それぞれ互いに異なる波長 $\lambda$ 1ないし $\lambda$ nの信号光を出力する。光減衰器21ないし2nは、信号光源11ないし1nそれぞれから出力された波長 $\lambda$ 1ないし $\lambda$ nの信号光を適当に減衰させて透過させる。その減衰率は可変である。例えば、光減衰器21ないし2nとして光フィルタが用いられ、その場合、異なる減衰率を有する光フィルタを交換することにより、出力される信号光の光量を変更する。又、光減衰器21ないし2nとして光の偏光を利用するものも用いることができる。尚、もし、信号光源11ないし1nが出力される信号光の光量を調整する機能を有するものであれば、光減衰器21ないし2nは不要である。

【0056】光合波器30は、光減衰器21ないし2nそれぞれから出力された波長 $\lambda$ 1ないし $\lambda$ nの信号光を入力して、前述の第1の実施例と同様に、波長多重化し、波長多重化された信号光を評価対象である光ファイバ増幅器40に入力する。光スペクトラムアナライザ50は、前述の第1の実施例と同様に、光ファイバ増幅器40から出力され光ファイバ伝送路61を伝送されてきた信号光を入力し、その信号光の光スペクトラムを解析する。

【0057】以上のように構成される本実施例の光ファイバ増幅器評価装置は、以下のように動作する。

【0058】信号光源11ないし1nから出力された波長 $\lambda$ 1ないし $\lambda$ nの信号光は、光減衰器21ないし2nで適当に減衰された後に、光合波器30で波長多重化されて、光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40に入力された信号光は、前述の第1の実施例の場合と同様に、光アイソレータ41を透過して、増幅用光ファイバ42で所定の波長依存性の利得で多波長一括増幅され、光結合器44と光アイソレータ45を透過して、光ファイバ伝送路61に伝搬し、光スペクトラムアナライザ50でそれぞれの波長の信号光の光量が測定



(7)

特開平 9- 5212

11

される。

【0059】次に、第2の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置を用いた光ファイバ増幅器評価方法について説明する。

【0060】信号光源11ないし1nとして、実際の多波長一括増幅に用いられる信号光の波長の一部である波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ の信号光を出力する信号光源が用いられる。これら信号光源11ないし1nから出力された信号光は、光減衰器21ないし2nで適当に減衰され、光合波器30で波長多重化され、評価対象である光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40で増幅された後に出力された信号光は、光スペクトラムアナライザ50で解析され、波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ それぞれの信号光の利得と雑音指数が得られる。

【0061】もし、ここで、光減衰器21ないし2nそれぞれの減衰率を調整して、評価時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の全光量を、実際の多波長一括増幅時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の全光量に等しく設定すれば、評価の結果得られた波長 $\lambda_1$ ないし $\lambda_n$ それぞれの信号光の利得と雑音指数は、実際の多波長一括増幅時におけるその波長の信号光の利得と雑音指数に等しい。即ち、実際の多波長一括増幅時におけるそれぞれの波長の信号光の利得と雑音指数を得る。

【0062】次に、第2の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置および方法を用いた測定例について説明する。

【0063】尚、以降に説明する測定に用いた光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバはA1共添加EDFであり、Er添加濃度は約0.1wt%、Al添加濃度は約1wt%である。又、光ファイバ増幅器は、後方向励起方式により信号光を増幅するものであり、励起光波長は1.47 $\mu$ m、励起光光量は50mWである。

【0064】図5は、2波長一括増幅および3波長一括増幅それぞれにおける全信号光の全光量に対する利得と雑音指数の測定結果を示すグラフである。図5(a)は利得を、図5(b)は雑音指数を示す。図5(a)と図5(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量である。実験に用いたEDFの長さは22mである。

【0065】2波長一括増幅の場合、2波長それぞれの信号光の光量は同一である。又、3波長一括増幅の場合、3波長それぞれの信号光の光量は同一である。

【0066】○印は、光ファイバ増幅器で2波長(1543/1558nm)の信号光を一括増幅した場合の、

印は、光ファイバ増幅器で3波長(1543/1552/1558nm)の信号光を一括増幅した場合の、波長1543nmの信号光の利得と雑音指数の測定結果である。

【0067】△印は、光ファイバ増幅器で2波長(15 50

12

43/1558nm)の信号光を一括増幅した場合の、▲印は、光ファイバ増幅器で3波長(1543/1552/1558nm)の信号光を一括増幅した場合の、波長1558nmの信号光の利得と雑音指数の測定結果である。

【0068】この図から、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、光ファイバ増幅器に入力する信号光が2波長であるか3波長であるかには依存せず、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量に依存することが認められる。

【0069】図6は、3波長一括増幅、2波長一括増幅および1波長増幅それぞれにおける全信号光の全光量に対する利得の測定結果を示すグラフである。図6(a)と図6(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量である。実験に用いたEDFの長さは16mである。

【0070】2波長一括増幅の場合、2波長それぞれの信号光の光量は同一である。又、3波長一括増幅の場合、3波長それぞれの信号光の光量は同一である。

【0071】図6(a)では、○印は、光ファイバ増幅器で3波長(1548/1552/1558nm)の信号光を一括増幅した場合の、◆印は、光ファイバ増幅器で2波長(1552/1558nm)の信号光を一括増幅した場合の、×印は、光ファイバ増幅器で波長1558nmの1つの信号光を増幅した場合の、波長1558nmの信号光の利得の測定結果である。

【0072】図6(b)では、○印は、光ファイバ増幅器で3波長(1533/1543/1552nm)の信号光を一括増幅した場合の、◆印は、光ファイバ増幅器で2波長(1533/1543nm)の信号光を一括増幅した場合の、×印は、光ファイバ増幅器で波長1533nmの1つの信号光を増幅した場合の、波長1533nmの信号光の利得の測定結果である。

【0073】この図から、光ファイバ増幅器の利得は、光ファイバ増幅器に入力する信号光が2波長であるか3波長であるかには依存せず、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量に依存することが認められる。しかし、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が等しくても、1波長の信号光のみを増幅した場合の利得と、2ないし3波長の信号光を一括増幅した場合の利得は、必ずしも一致しないことが認められる。

【0074】以上、図6および図7に示した測定結果から分かるように、光ファイバ増幅器に入力する信号光が、異なる波長の個数であっても、同一の全光量であれば、その光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、同一波長の信号光に対して略同一の値を示すことが認められる。

【0075】従って、実際の多波長一括増幅時に用いられる信号光が例えば10波長( $\lambda_1$ ないし $\lambda_{10}$ )であっても、これら10波長の信号光の内の例えば2波長



(8)

特開平 9- 5212

13

( $\lambda 1$ と $\lambda 2$ )に対する光ファイバ増幅器の利得と雑音指数を求めたい場合には、評価時において、その2波長( $\lambda 1$ と $\lambda 2$ )の信号光を出力する信号光源を用意し、これら2波長のみを光ファイバ増幅器に入力させて、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数を測定すればよい。

【0076】この時、その2信号光それぞれの光量を光減衰器により可変設定して光ファイバ増幅器に入力して評価すれば、実際が多波長一括増幅時における10波長の信号光の全光量の値が変化した時のそれぞれの光量値の場合における光ファイバ増幅器の利得と雑音指数を求めることができる。

【0077】(第3の実施例)次に、第3の実施例について説明する。図7は、第3の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。

【0078】本実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置は、前述の第2の実施例に対して、 $n$ 個の信号光源11ないし1 $n$ に替えて、出力される信号光の波長を変更あるいは選択する波長変更手段を有する $n$ 個の信号光源71ないし7 $n$ を備える。

【0079】実際が多波長一括増幅時に光ファイバ増幅器40に入力する信号光の波長の数よりも少ない $n$ 個の信号光源71ないし7 $n$ は、それぞれ互いに異なる波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ の信号光を任意に選択して出力する。これらの波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ は、実際が多波長一括増幅時に用いられる信号光の波長の一部である。例えば、信号光源71ないし7 $n$ として光伸光学工業株式会社製の波長可変半導体レーザー光源LS-201Aを用いることができ、その場合、1470nmないし1570nmの波長の信号光が得られる。

【0080】光減衰器21ないし2 $n$ は、前述の第2の実施例と同様に、信号光源71ないし7 $n$ それぞれから出力された波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ の信号光を適当に減衰させて透過させる。その減衰率は可変である。

【0081】光合波器30は、前述の第2の実施例と同様に、光減衰器21ないし2 $n$ それぞれから出力された波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ の信号光を入力して、波長多重化し、波長多重化された信号光を評価対象である光ファイバ増幅器40に入力する。

【0082】光スペクトラムアナライザ50は、前述の第2の実施例と同様に、光ファイバ増幅器40から出力され光ファイバ伝送路61を伝送されてきた信号光を入力し、その信号光の光スペクトラムを解析する。

【0083】以上のように構成される本実施例の光ファイバ増幅器評価装置は、以下のように動作する。

【0084】信号光源71ないし7 $n$ で波長選択されて出力された波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ の信号光は、前述の第2の実施例の場合と同様に、光減衰器21ないし2 $n$ で適当に減衰された後に、光合波器30で波長多重化されて、光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40に入力された信号光は、前述の第2の実施例の

14

場合と同様に、光アイソレータ41を透過して、増幅用光ファイバ42で所定の波長依存性の利得で多波長一括増幅され、光結合器44と光アイソレータ45を透過して、光ファイバ伝送路61に伝搬し、光スペクトラムアナライザ50で、それぞれの波長の信号光の光量が測定される。

【0085】次に、第3の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置を用いた光ファイバ増幅器評価方法について説明する。

【0086】信号光源71ないし7 $n$ それぞれは、実際が多波長一括増幅に用いられる複数の波長の内の任意の波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ の信号光を選択して出力する。これら信号光源71ないし7 $n$ から出力された信号光は、光減衰器21ないし2 $n$ で適当に減衰され、光合波器30で波長多重化され、評価対象である光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40で増幅された後に出力された信号光は、光スペクトラムアナライザ50で解析され、波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ それぞれの信号光の利得と雑音指数が得られる。

【0087】もし、ここで、評価時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の波長が、実際が多波長一括増幅時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の波長に完全一致しなくても、光減衰器21ないし2 $n$ それぞれの減衰率を調整して、評価時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の全光量を、実際が多波長一括増幅時における光ファイバ増幅器40に入力される信号光の全光量に等しく設定すれば、評価の結果得られた波長 $\lambda 1$ ないし $\lambda n$ それぞれの信号光の利得と雑音指数は、実際が多波長一括増幅時におけるその波長の信号光の利得と雑音指数に等しい。更に、信号光源10ないし1 $n$ から出力される信号光の波長を変更して特性を評価することにより、それぞれの波長に対する光ファイバ増幅器40および増幅用光ファイバ42の特性を評価することができる。即ち、実際が多波長一括増幅時におけるそれぞれの波長の信号光の利得と雑音指数を得る。

【0088】例えば、以下のような方法で光ファイバ増幅器40の特性を評価することができる。実際が多波長一括増幅に用いられる信号光の波長の範囲は $\lambda 1$ から $\lambda 2$ までであるとする。その多波長一括増幅に用いられる光ファイバ増幅器40の評価時に2つの信号光源71と72とを用意する。信号光源71から出力される信号光の波長を $\lambda 1$ に設定する。一方、信号光源72から出力される信号光の波長 $\lambda$ を、 $\lambda 1 < \lambda \leq \lambda 2$  ... (1)

の範囲で可変に設定する。信号光源71と72それぞれの後段に設けられた光減衰器21と22とを調整して、波長 $\lambda 1$ の信号光の光量と波長 $\lambda 2$ の信号光の光量との和を、実際が多波長一括増幅時における信号光の全光量に等しく設定する。これら2つの信号光は、光合波器3

(9)

特開平 9- 5212

15

0で波長多重化され、光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40で2波長一括増幅された後に出力された信号光は、光スペクトラムアナライザ50で解析され、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ それぞれの信号光の利得と雑音指数が得られる。信号光源72から出力される信号光の波長 $\lambda$ が(1)式の範囲で可変設定されれば、設定されたそれぞれの波長 $\lambda$ に対して、光ファイバ増幅器40の利得と雑音指数を評価することができる。

【0089】又、例えば、以下のような方法で光ファイバ増幅器40の特性を評価することもできる。実際の多波長一括増幅に用いられる信号光の波長の範囲は $\lambda_1$ から $\lambda_2$ までであるとする。その多波長一括増幅に用いられる光ファイバ増幅器40の評価時に3つの信号光源71ないし73を用意する。信号光源71から出力される信号光の波長を $\lambda_1$ に設定し、信号光源72から出力される信号光の波長を $\lambda_2$ に設定する。信号光源73から出力される信号光の波長を、

$$\lambda_1 < \lambda < \lambda_2 \quad \dots (2)$$

の範囲で可変に設定する。信号光源71ないし73それぞれの後段に設けられた光減衰器21ないし23を調整して、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ および $\lambda$ それぞれの信号光の全光量を、実際の多波長一括増幅時における信号光の全光量に等しく設定する。これら3つの信号光は、光合波器30で波長多重化され、光ファイバ増幅器40に入力される。光ファイバ増幅器40で3波長一括増幅された後に出力された信号光は、光スペクトラムアナライザ50で解析され、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ および $\lambda$ それぞれの信号光の利得と雑音指数が得られる。信号光源73から出力される信号光の波長 $\lambda$ が(2)式の範囲で可変設定されれば、設定されたそれぞれの波長 $\lambda$ に対して、光ファイバ増幅器40の利得と雑音指数を評価することができる。

【0090】次に、第3の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置および方法によるシミュレーション例について説明する。

【0091】前、以降に説明するシミュレーション計算の前提条件は以下のとおりである。光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバはA1共添加EDFであり、Er添加濃度は約0.1wt%、Al添加濃度は約1wt%、長さは22mである。又、光ファイバ増幅器は、後方向励起方式により信号光を増幅するものであり、励起光波長は1.48 $\mu$ m、励起光光量は50mWである。

【0092】図8は、2波一括増幅および3波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。図8

(a)は利得を、図8(b)は雑音指数を示す。図8

(a)と図8(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長である。

【0093】2波長一括増幅(図中の $\Delta$ 印、 $\square$ 印、 $\bullet$ 印)と3波長一括増幅(図中の $\circ$ 印)いずれの場合も、光ファイバ増幅器に入力される信号光の全光量は-1

16

5.5dBmである。2波長一括増幅の場合、2波長それぞれの信号光の光量は同一であり、-18.5dBmである。3波長一括増幅の場合、3波長それぞれの信号光の光量は同一であり、-20.3dBmである。

【0094】 $\circ$ 印は、3波長(1543/1552/1558nm)の信号光を光ファイバ増幅器で一括増幅した時の、それぞれの波長の信号光の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。

【0095】 $\Delta$ 印、 $\square$ 印、 $\bullet$ 印は、これら3波長の内から選ばれた2波長の信号光の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。 $\Delta$ 印は、2波長(1543/1558nm)の信号光を光ファイバ増幅器で一括増幅した時の、 $\square$ 印は、2波長(1543/1552nm)の信号光を光ファイバ増幅器で一括増幅した時の、 $\bullet$ 印は、2波長(1552/1558nm)の信号光を光ファイバ増幅器で一括増幅した時の、それぞれの波長の信号光の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。

【0096】この図から、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が同一であれば、光ファイバ増幅器に入力する信号光が2波長であるか3波長であるかには依存しないことが認められる。

【0097】図9は、3波一括増幅における信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。図9(a)は利得を、図9(b)は雑音指数を示す。図9(a)と図9(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長である。

【0098】図中の $\circ$ 印と $\bullet$ 印は共に、3波長一括増幅の場合のシミュレーション結果であり、それぞれの波長の信号光の光量は-20.3dBmである。 $\circ$ 印は、3波長(1543/1552/1558nm)一括増幅の場合の、 $\bullet$ 印は、3波長(1548/1552/1555nm)一括増幅の場合の、シミュレーション結果である。

【0099】この図から、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が同一であれば、光ファイバ増幅器に入力する信号光が3波長である時にその波長の選択に依らず、他の2波長が異なっても同一波長(本シミュレーションの場合、1552nm)の信号光の利得と雑音指数は略同一であることが認められる。

【0100】図10は、2波一括増幅および5波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。図10(a)は利得を、図10(b)は雑音指数を示す。図10(a)と図10(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長である。

【0101】2波長一括増幅と5波長一括増幅いずれの場合も、光ファイバ増幅器に入力される信号光の全光量は-13.3dBmである。2波長一括増幅の場合、2

50

(10)

特開平 9- 5212

17

波長それぞれの信号光の光量は同一であり、 $-16.3$  dBmである。5波長一括増幅の場合、5波長それぞれの信号光の光量は同一であり、 $-20.3$  dBmである。

【0102】実線の○印は、5波長(1543/1548/1552/1555/1558 nm)の信号光を光ファイバ増幅器で一括増幅した時の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。

【0103】破線の○印は、波長1543 nmの信号光と、前記5波長の中の波長1543 nmを除く他の4波長の信号光から選択された1つの信号光とを、光ファイバ増幅器で2波一括増幅した時の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。

【0104】この図から、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が同一であれば、2波長であっても5波長であっても変わらず、又、2波長の内の1波長が共通で他の1波長を変化させて特性評価した時、その変化させた波長の信号光の利得と雑音指数のシミュレーション結果は、5波長一括増幅時のその波長の利得と雑音指数のシミュレーション結果と略同一であることが認められる。

【0105】図11は、3波一括増幅および5波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。図11(a)は利得を、図11(b)は雑音指数を示す。図11(a)と図11(b)それぞれの横軸は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長である。

【0106】3波長一括増幅と5波長一括増幅いずれの場合も、光ファイバ増幅器に入力される信号光の全光量は $-13.3$  dBmである。3波長一括増幅の場合、3波長それぞれの信号光の光量は同一であり、 $-18.1$  dBmである。5波長一括増幅の場合、5波長それぞれの信号光の光量は同一であり、 $-20.3$  dBmである。

【0107】実線の○印は、5波長(1543/1548/1552/1555/1558 nm)の信号光を光ファイバ増幅器で一括増幅した時の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。

【0108】破線の○印は、波長1543 nmと1558 nmの2信号光と、前記5波長の中の波長1543 nmと1558 nmを除く他の3波長の信号光から選択された1つの信号光とを、光ファイバ増幅器で3波一括増幅した時の利得と雑音指数のシミュレーション結果である。

【0109】この図から、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、光ファイバ増幅器に入力する信号光の全光量が同一であれば、3波長であっても5波長であっても変わらず、又、3波長の内の2波長が共通で他の1波長を変化させて特性評価した時、その変化させた波長の信号光の利得と雑音指数のシミュレーション結果は、5波長

18

一括増幅時のその波長の利得と雑音指数のシミュレーション結果と略同一であることが認められる。

【0110】以上、図7ないし図11に示したシミュレーション結果から分かるように、光ファイバ増幅器に入力する信号光が、異なる波長の数であっても、同一の全光量であれば、その光ファイバ増幅器の利得と雑音指数は、同一波長の信号光に対して略同一の値を示すことが認められる。

【0111】従って、実際の多波長一括増幅時に用いられる信号光が例えば10波長( $\lambda 1$ ないし $\lambda 10$ )であっても、これら10波長の信号光それぞれに対する光ファイバ増幅器の利得と雑音指数を求めるには、評価時において、それより少ない例えば2波長( $\lambda 1$ と $\lambda 2$ ないし $\lambda 10$ )の間で可変設定し、更に、2信号光の全光量を実際の多波長一括増幅時における10信号光の全光量と等しく設定し、これら2波長のみを光ファイバ増幅器に入力させて、光ファイバ増幅器の利得と雑音指数を測定すればよい。

【0112】本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、評価時に光ファイバ増幅器に入力する信号光の波長数は、2あるいは3に限定されるものではなく、任意の個数でよい。

【0113】又、光減衰器は、全ての信号光に対して設けられる必要はなく、信号光の一部に対してのみ設けられていてもよい。光減衰器は光合波器の後段に設けられてもよい。信号光それぞれの光量は同一である必要はなく、互いに異なってもよい。

【0114】又、評価時に光ファイバ増幅器に入力させる信号光の内一部の信号光の波長を変更するだけでなく、信号光の全ての波長を適宜変更させてもよい。

【0115】又、評価時に用いられる信号光の全ての波長は、実際の多波長一括増幅で用いられる信号光の波長の範囲に含まれる必要はなく、一部信号光が当該波長範囲に含まれなくてもよい。この場合、当該波長範囲に含まれる信号光に対して意義のある特性評価結果が得られる。但し、評価時に用いられる信号光の全ての波長は、評価対象である光ファイバ増幅器が増幅可能な波長範囲に含まれていなければならない。

【0116】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明の光ファイバ増幅器評価方法によれば、実際の多波長一括増幅時の信号光の波長の数よりも少ない信号光で光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価するので、これら信号光の光量や波長の調整が容易であるという効果を有する。

【0117】評価時の信号光の光量を可変設定して光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価すれば、実際の多波長一括増幅時において光ファイバ増幅器に入力する信号光の光量変動する場合にも、それぞれ

(11)

特開平 9 - 5212

19

20

の場合における光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価することができる。

【0118】評価時の信号光の波長を可変設定して光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価すれば、実際の多波長一括増幅時において光ファイバ増幅器に入力する信号光のそれぞれに対する光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価することができる。

【0119】又、本発明の光ファイバ増幅器評価装置によれば、実際の多波長一括増幅時の信号光の波長の数よりも少ない信号光源を備えればよいので、本装置の構成が小規模であり、これら信号光の光量や波長の調整が容易であるという効果を有する。

【0120】評価時の信号光の光量を調整する光量調整手段を備える場合には、信号光の光量を可変設定して光ファイバ増幅器の特性を評価することができるので、実際の多波長一括増幅時において光ファイバ増幅器に入力する信号光の光量が変動する場合にも、それぞれの場合における光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価することができる。

【0121】評価時の信号光の波長を変更する波長変更手段を備える場合には、信号光の波長を可変設定して光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価することができるので、実際の多波長一括増幅時において光ファイバ増幅器に入力する信号光のそれぞれに対する光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。

【図2】光ファイバ増幅器の構成図である。

【図3】3波一括増幅および8波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する雑音指数のシミュレーション

結果を示すグラフである。

【図4】第2の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。

【図5】2波一括増幅および3波一括増幅それぞれにおける全信号光の全光量に対する利得と雑音指数の測定結果を示すグラフである。

【図6】3波一括増幅、2波一括増幅および1波増幅それぞれにおける全信号光の全光量に対する利得の測定結果を示すグラフである。

【図7】第3の実施例に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。

【図8】2波一括増幅および3波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図9】3波一括増幅における信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図10】2波一括増幅および5波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。

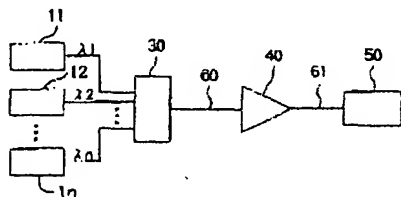
【図11】3波一括増幅および5波一括増幅それぞれにおける信号光の波長に対する利得と雑音指数のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図12】光中継伝送装置の構成図である。

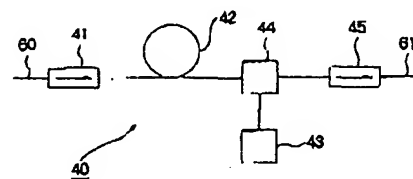
【符号の説明】

11, 12, ..., 1n...信号光源、21, 22, ..., 2n...光減衰器、30...光合波器、40...光ファイバ増幅器、41...光アイソレータ、42...増幅用光ファイバ、43...励起光源、44...光結合器、45...光アイソレータ、50...光スペクトラムアナライザ、60, 61...光ファイバ伝送路、71, 72, ..., 7n...信号光源。

【図1】



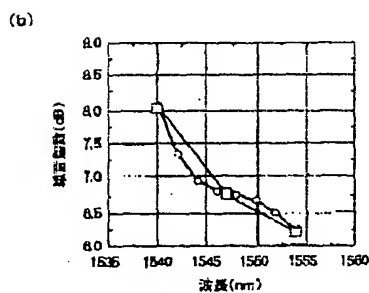
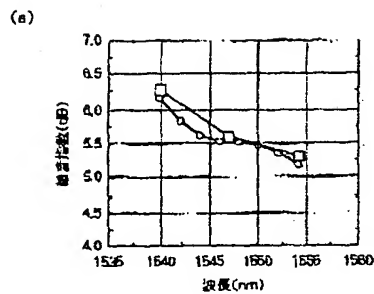
【図2】



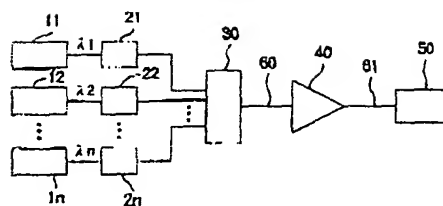
(12)

特開平 9- 5212

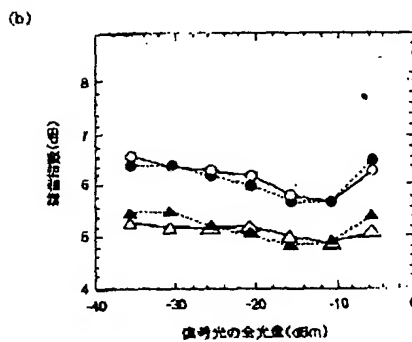
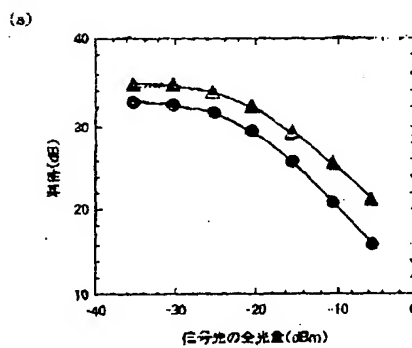
【図3】



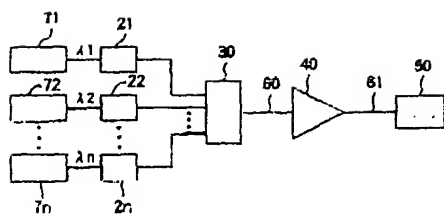
【図4】



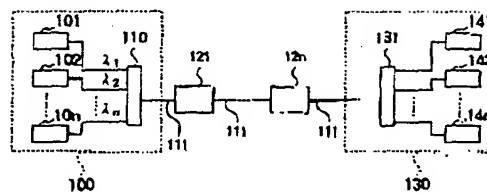
【図5】



【図7】



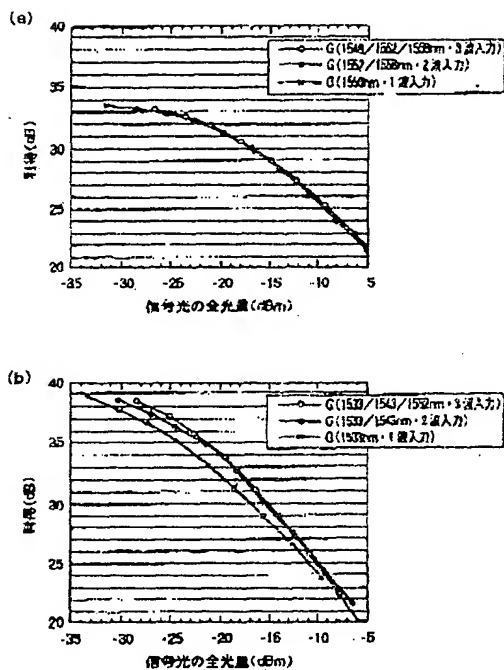
【図12】



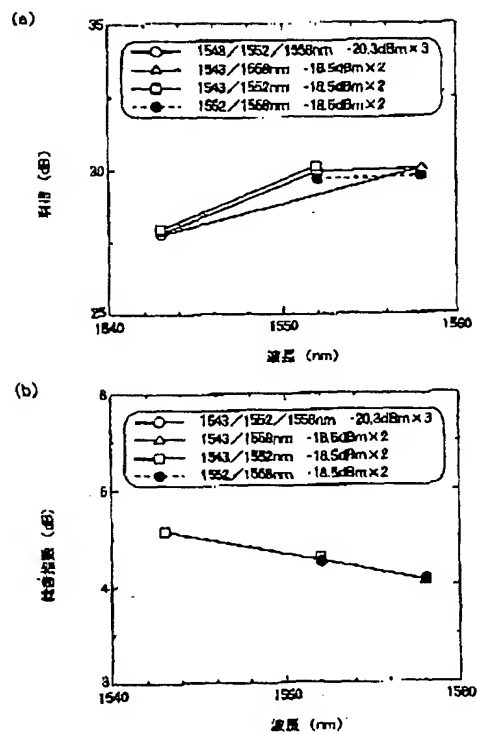
(13)

特開平 9- 5212

【図6】



【図8】





2003年 8月 5日 16時27分

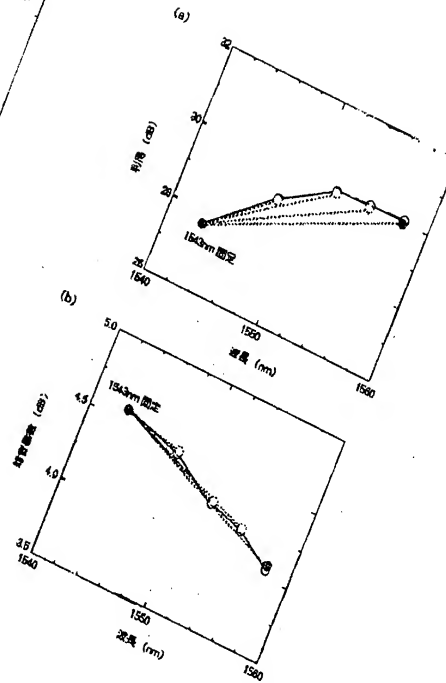
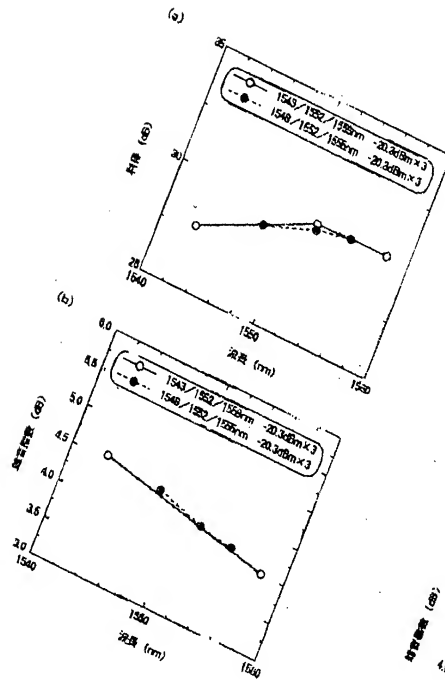
(株)パナソニック

【図9】

(14)

NO. 2674 P. 17  
特許 9- 5212

【図10】



(15)

特開平 9- 5212

【図11】

